

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2011

Jana Nezhybová

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: B3107 Textil

Studijní obor: Technologie a řízení oděvní výroby

KOD - 06

Speciální oděvy pro hasiče - zkoušky nehořlavosti

Special clothing for firefighters - Non-combustibility test

Jana Nezhybová

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Renáta Nemčoková

Rozsah práce:

Počet stran textu..... 38

Počet obrázků..... 24

Počet tabulek..... 7

Počet grafů..... 1

Počet stran příloh..... 8

Zadání bakalářské práce
(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 13. 5. 2011

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří paní Ing. Renátě Flegrové a společnosti Deva-FM za poskytnuté materiály. Dále děkuji vedoucí bakalářské práce paní Ing. Renátě Nemčokové a panu Ing. Rudolfovi Třešňákovi za poskytnutý čas a cenné rady.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá speciálními oděvy pro hasiče. Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na speciální vlákna, která se používají na výrobu nehořlavých materiálů. Dále jsou popsány konkrétní oděvy pro hasiče. V další části práce jsou zmíněny normy pro nehořlavost a experimentální zkoušky nehořlavosti, které byly uskutečněny na přístroji M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER. V závěrečné části jsou vyhodnoceny výsledky získané z experimentálních zkoušek nehořlavosti provedených na zkušebních vzorcích.

KLÍČOVÁ SLOVA:

nehořlavost, NOMEX[®], KEVLAR[®], PBI[®], plamen, ochranný oděv, hasič, norma

ANNOTATION

This thesis deals with the special clothing for firefighters. The theoretical part of this thesis is focused on special fibers that are used for the production of flameproof materials. The following describes specific clothing for firefighters. In the next section are mentioned those standards for flame resistance and experimental tests of flame resistance that were carried out on the unit M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER. The final section analyzes the results acquired from the experimental non-flammability tests executed on test samples.

KEY WORDS:

nonflammability, NOMEX[®], KEVLAR[®], PBI[®], flame, protective clothing, fireman, standard

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Úvod	9
1 Teoretická část.....	10
1.1 Sálání tepla	10
1.1.1 Přehřátí.....	10
1.2 Hořlavost	11
1.2.1 Limitní kyslíkové číslo	11
1.3 Aramidová vlákna	12
1.3.1 Vlastnosti aramidových vláken.....	12
1.3.2 Rozdělení aramidových vláken.....	12
1.3.2.1 Meta-aramidy (MPIA)	13
1.3.2.2 Para-aramidy (PPTA)	13
1.3.3 Snížení hořlavosti u aramidových vláken	14
1.4 NOMEX®	14
1.4.1 Tepelně izolační vlastnosti.....	15
1.4.2 Použití vlákna NOMEX®	16
1.5 KEVLAR®	16
1.5.1 Vlastnosti Kevlaru z mikroskopického hlediska	16
1.5.2 Tepelné vlastnosti Kevlaru	17
1.5.3 Druhy Kevlaru	17
1.5.4 Nejčastější průmyslové využití	18
1.6 Polybenzimidazol (PBI)	18
1.6.1 Vlastnosti komerčního vlákna PBI	19
1.6.2 Použití PBI.....	19
1.7 TEFLON (PTFE)	19
1.7.1 Výroba teflonového vlákna.....	20

2	Hasičské obleky	21
2.1	Vrstvy speciálních obleků pro hasiče.....	21
2.2	Podmínky pro výběr materiálu.....	22
2.3	Nebezpečí vzniklé při hašení požáru.....	22
2.4	Společnost DEVA-FM	23
2.4.1	Ochranný oblek BUSHFIRE	23
2.4.2	Zásahový oblek FIREMAN Strong	24
2.4.3	Zásahový oblek FIREMAN V-PBI.....	26
2.4.3.1	Test THERMO-MAN [®]	27
2.4.4	Zásahový oblek TIGER Matrix	27
2.4.4.1	Test PYRO-MAN [®]	28
3	Normy pro nehořlavost.....	30
3.1	Bytové a oděvní textilie	30
3.2	Technická konfekce	31
4	Experimentální část	32
4.1	Test hořlavosti podle normy ČSN EN ISO 6940 (80 0805)	33
4.1.1	Vyhodnocení zkoušky.....	33
4.1.1.1	BUSHFIRE - vyhodnocení zkoušky.....	34
4.1.1.2	FIREMAN Strong - vyhodnocení zkoušky	34
4.1.1.3	FIRAMAN V-PBI - vyhodnocení zkoušky	35
4.1.1.4	TIGER Matrix - vyhodnocení zkoušky	35
4.1.2	Obrazová analýza.....	37
	Závěr.....	40
	Literatura	41
	Seznam tabulek.....	43
	Seznam obrázků.....	44
	Přílohy	45

Seznam použitých symbolů a zkratek

atd.	a tak dále
cca	cirka
CO	bavlna
DPH	daň z přidané hodnoty
HZS	hasičský záchranný sbor
Kč	koruna česká
LOI	Limiting Oxygen Index
MPIA	meta-phenyleneisophthalamide
např.	například
obr.	obrázek
PBI	polybenzimidazol
PL	polyester
PP	polypropylen
PPTA	para-phenyleneterephthalamide
pozn.	poznámka
PTFE	polytetrafluorethylen
PU	polyuretan
PVC	polyvinylchlorid
SDH	sbor dobrovolných hasičů
SE	přírodní hedvábí
tab.	tabulka
tj.	to je
VI	viskóza
δ	delta

Úvod

Tématem bakalářské práce jsou speciální oděvy pro hasiče a jejich zkoušky nehořlavosti. Jednotky požární ochrany musí denně zasahovat při hašení nebezpečných požárů, pomáhat při povodních a u jiných krizových situací. Při tomto nebezpečném povolání, kdy jsou hasiči vystaveni vysokým teplotám, vodě a jiným nebezpečím je důležitá ochrana celého těla. K zajištění bezpečnosti hasičů je zapotřebí osobních ochranných pracovních prostředků, jako je helma, rukavice, obuv a nezbytné speciální ochranné obleky. Pro stálý funkční stav ochranných prostředků se musí dbát na dodržování předepsané údržby, správného používání a hlavně nepřeceňovat jejich schopnosti.

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na speciální vlákna, která se používají na výrobu nehořlavých materiálů. Tato vlákna jsou odolná vůči vysokým teplotám a mechanickým vlivům.

V práci jsou uvedeny a popsány čtyři konkrétní obleky pro hasiče. První dva obleky byly vybrány z důvodu využívání hasičskými sbory České republiky. Další dva obleky jsou vyráběny pro zahraniční hasiče a v práci jsou uvedeny pro odlišné materiálové složení.

V závěru práce jsou zmíněny normy pro nehořlavost a experimentální zkoušky nehořlavosti, které byly uskutečněny na přístroji M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER. Pro tyto testy se použily vzorky materiálu z již zmíněných speciálních oděvů pro hasiče. Na závěr jsou popsány změny, které u vzorků materiálu během zkoušek proběhly. Tabulky s výsledky zkoušek jsou uvedeny v příloze.

1 Teoretická část

¹„Během likvidace požáru trafostanice v Praze 9 znenadání vyšlehly plameny z rozlité vysoce vznětlivé kapaliny povaleného ocelového sudu. Zásahující hasiči se tak po dobu půl minuty ocitli v ohnivém pekle o teplotě až 800 °C. Nikdo však nebyl zraněn.“

V televizních zprávách si obvykle na hasičích všimneme slušivých helem, ale to nejdůležitější skrývají jejich obleky. Oděvy pro hasiče chrání proti ohni a sálavému teplu. Musí však mít i další vlastnosti, jakými jsou pohodlí při nošení, odolnost vůči agresivním chemikáliím, permanentní antistatické vlastnosti, trvanlivost a stále dobrý vzhled. Vlastnosti těchto materiálů se nesmí měnit ani po opakovaném praní. [1]

1.1 Sálání tepla

Při sálání je z určitého tělesa vyzařováno teplo. Toto teplo se šíří vzduchem dokud nenarazí na nějakou překážku (má nižší teplotu), která teplo pohltí. Výsledkem procesu sálání je, že se zvýší teplota zasaženého materiálu. [2]

1.1.1 Přehřátí

²„Přehřátím (hypertermií) se rozumí překročení maximální teploty těla, při které již organismus není schopen efektivního odvodu tepla z těla ochlazováním, dochází k rozšíření cév a zadržení velkého množství krve z oběhu, čímž vzniká riziko kolapsu organismu.“

K přehřátí organismu hasiče může dojít zejména při použití ochranného oděvu pro hasiče, obleků proti sálavému teplu a protichemických obleků.

Nasazení v ochranných oblecích mohou být pouze hasiči zdravotně způsobilí a připravení pro jejich používání výcvikem k termické odolnosti. [3]

¹ Brnění třetího tisíciletí [online]. [cit. 2011-02-28] URL: <<http://www.trivis.info/view.php?cisloclanku=2006052801>>.

² Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu - ml_n11.pdf (application/pdf objekt) [online]. [cit. 2011-03-02] URL: <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/hasici/izs/bojrad/ml_n11.pdf>

1.2 Hořlavost

Hořlavost je schopnost textilie hořet po zapálení [4]. Jestli po zapálení bude materiál samostatně hořet, závisí na spotřebované energii. Podle toho rozlišujeme procesy hoření, při kterých se energie spotřebovává nebo procesy, při kterých se energie uvolňuje.

Pokud je uvolněná energie větší než spotřebovaná znamená to, že materiál hoří. Naopak materiál je nehořlavý nebo samozhášející, když je uvolněná energie menší než spotřebovaná.

Podle hořlavosti se vlákna rozlišují na hořlavá, která hoří i po vyjmutí z plamene (CO, VI), vlákna samozhášející, která hoří jen do doby, kdy jsou vyjmuty z plamene (PL, SE, PP) a vlákna nehořlavá, která se v plamenu popřípadě jen taví, ale po odstranění plamene ihned uhasnou (PVC). [5]

1.2.1 Limitní kyslíkové číslo

Údaje o hořlavosti materiálů a účinnosti nehořlavých úprav poskytuje limitní kyslíkové číslo LKČ (= LOI). LKČ vyjadřuje nejnížší koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem (v %), která ještě stačí k tomu, aby materiál při podmínkách zkoušky hořel.

$${}^{(1)}LKČ = \frac{[O_2]}{[N_2] + [O_2]} * 100[\%] \quad (I)$$

Pokud je hodnota LKČ nízká znamená to, že materiál hoří i při malém podílu kyslíku ve směsi [5]. Rozdíly hoření mezi určitými vlákny jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1 Rozdíly mezi vlákny [5]

Vlákno	Teplota tání [°C]	Teplota vzplanutí [°C]	LKČ [%]
bavlna	-	350-400	18,4
vlna	-	570-600	25,2
NOMEX®	380	600	28
Teflonové vlákno	400	nehořlavé	-

1.3 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (viz obr. 1) jsou polyamidy s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, z jehož peptidických vazeb nejméně 85 % musí být spojeno se dvěma aromatickými jádry. Označení aramid vzniklo ze spojení slov aromatický polyamid.

Mimo vysoké pevnosti a odolnosti proti horku se aramidy vyznačují značnou odolností vůči chemikáliím. Vlákna se netaví, teprve až při teplotě cca. 400 °C zuhelnatí. [6]



Obr. 1 Aramidové vlákno [6]

1.3.1 Vlastnosti aramidových vláken

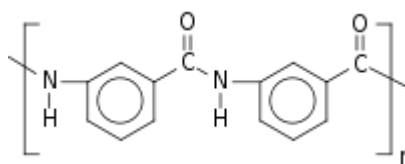
- citlivé na ultrafialové záření, vlhkost a salinitu
- odolné vůči odření, teplu a organickým rozpouštědlům
- nevodivé
- bez teploty tání
- špatně zápalné
- dobře zpracovatelné v továrnách při zvýšených teplotách
- vysoká pevnost a vysoký Youngův modul pružnosti
- obtížně barvitelné - většinou se barví ještě rozpuštěná forma [7]

1.3.2 Rozdělení aramidových vláken

Aramidová vlákna se dělí do dvou základních skupin: meta-aramidová a para-aramidová vlákna.

1.3.2.1 Meta-aramidy (MPIA)

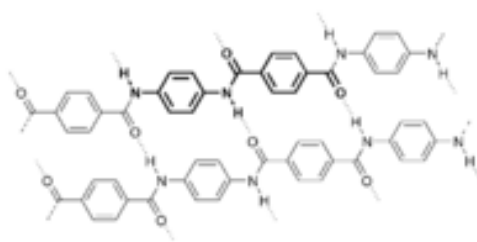
Meta-aramidová vlákna jsou známá především díky jejich tepelné odolnosti a pevnosti. M-aramidová vlákna nehoří, netaví se, nekapají, LOI = 30. Ve srovnání s jinými vlákny m-aramidy nabízejí lepší a dlouhodobější uchovávání mechanických vlastností při zvýšených teplotách. Vlastnosti meta-aramidových vláken jsou permanentní a nemění se ani po opakovaném praní. Nejznámějším zástupcem meta-aramidových vláken je NOMEX[®] (DuPont). Obr. 2 znázorňuje strukturu m-aramidů. [8]



Obr. 2 Struktura m-aramidu [6]

1.3.2.2 Para-aramidy (PPTA)

Para-aramidová vlákna, jsou dlouhé řetězce - syntetického polyamidu, nejčastěji poly a komerčně se vyrábí od počátku roku 1970. Kombinací vysoké pevnosti, vysoké teplotní odolnosti, LOI = 28 a nízké hmotnosti jsou tato vlákna užitečná v posílení kompozitních materiálů pro letecký průmysl, v automobilovém průmyslu, dále se využívají na sportovní vybavení a v tkaninách používaných u ochranných oděvů. Zástupcem para-aramidových vláken je např. KEVLAR[®] (DuPont). Na obr. 3 je znázorněna struktura p-aramidů. [9]



Obr. 3 Struktura p-aramidu [6]

1.3.3 Snížení hořlavosti u aramidových vláken

³ „Při rychlém ohřevu meta-aramidů plamenem dochází k tomu, že vlhkost ve tvaru páry a plynných produktů degradace zvýší výrazně objem „změkklého“ vlákna. Vytvoří se zuhelnatělá pěnovitá vrstva, která je zhruba 10x silnější než původní vlákenná vrstva, která izoluje textilií a zabraňuje další degradaci. Po odstranění plamene dochází k jeho uhašení.

Během zvýšené teploty se meta-aramidová vlákna srázejí a to má za následek vznik trhlin v textiliích, tím roste nebezpečí popálenin.

Pro ochranné oděvy se proto často využívá přízí, která je ze směsi meta- a para-aramidů. Meta-aramidy tvoří pěnovitou bariéru a para-aramidy zajišťují integritu textilie.“

1.4 NOMEX[®]

Technické vlákno NOMEX[®] má výjimečné technické vlastnosti, které spočívají v jeho chemické struktuře.

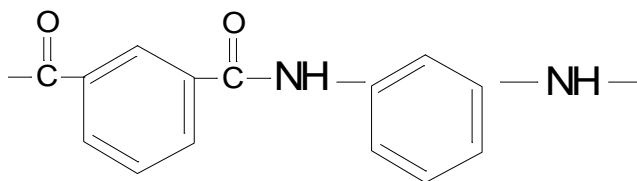
Samotné uspořádání vazeb uvnitř a kolem kruhu je daleko pevnější, než alifatické uspořádání řetězců. Spojením tohoto aromatického kruhu s uhlovodíkovými řetězci se vytvoří aromatické uhlovodíkové řetězce (aromatický polyamid), které jsou odlišné od rovinných polyamidů. Takovou chemickou strukturu nazýváme „Aramidy“ (NOMEX[®] se řadí do skupiny meta-aramidů), jejichž hlavní výhodou je, že vysoce

³ MILITKÝ, J. Přednášky: textilní vlákna; Speciální vlákna. Vyd. 2. Liberec: TU v Liberci, 2007. 423 s. ISBN 478-80-7372-169-5.

pevné vlákno působením žáru neteče a netaje. Z toho vyplývá, že NOMEX[®] je chemicky i tepelně velmi odolný. [13]

Vlastnosti spojené s ochranou zdraví při práci mají tato vlákna pevně dané ve své již zmíněné chemické struktuře, což je velkou výhodou, jelikož tyto vlákna se již nemusí dále technicky upravovat. Oproti tomu konkurenční materiály s povrchovou nehořlavou úpravou po čase ztrácí svou nehořlavou vlastnost a dochází k tepelné degradaci těchto materiálů, toto je způsobeno vlivem tepelného namáhání.

Až na některé případy obsahují všechny směsi NOMEX[®] antistatické vlákno P140 s uhlíkovým jádrem. Kromě zvyšování bezpečnosti v provozech, kde se vyskytují hořlavé prachy a plyny, pomáhá vlákno P140 odstranit nežádoucí jiskření oděvů, což se projevuje především u textilních materiálů vyrobených z umělých vláken. [12] Na obr. 4 je znázorněna struktura Nomexu.



Obr. 4 Struktura Nomexu [10]

1.4.1 Tepelně izolační vlastnosti

Tepelně izolační vlastnosti vlákna NOMEX[®] spočívají v jeho karbonizaci, přičemž k tomuto ději dochází, až kolem teploty 380 °C. Při této teplotě zároveň nedochází k tání a tečení materiálu. Jestliže materiál zbavíme zdroje zapálení, tak dojde k samozhášecí funkci.

Při působení přímého plamene na vlákna NOMEX[®] dochází k jejich postupnému zhušťování, čímž se vlákna stávají objemnější a tím vzniká ochranná vzduchová kapsa mezi zdrojem plamene a samotnou pokožkou. Tato ochranná vzduchová kapsa zůstává pružná až do ochlazení.

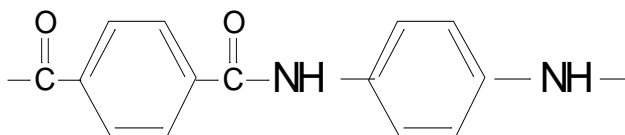
Během působení tepelné zátěže na tento materiál, nedochází k jeho přetržení a následné ztrátě celistvosti, ani k vzniku nebezpečných toxických zplodin, které by mohly nepříznivě ohrozit uživatele. [11]

1.4.2 Použití vlákna NOMEX®

Hlavní použití vlákna NOMEX® je v oblastech výroby ochranných ohni-žárovzdorných zásahových obleků, prádla a staničních uniforem pro hasiče, ochranných oděvů a prádla pro pracovníky ropných věží, rafinerií, petrochemických, plynářských a elektrorozvodných podniků a závodních jezdců F1. V poslední době se prádlo a oděvy z Nomexu objevují ve výbavě armád a zásahových oddílů policie. [13]

1.5 KEVLAR®

KEVLAR® je para-aramidové vlákno značky DuPont. Mezi jeho jedinečné vlastnosti patří velmi vysoká pevnost při nízké váze, houževnatost a tepelná stabilita, kromě toho je odolný vůči mnoha chemikáliím a rozpouštědlům. Tato lehká a měkká tkanina se používá ve velmi extrémních podmínkách právě díky její skvělé pevnosti (5x pevnější než ocel při stejné hmotnosti). Na obr. 5 je znázorněna struktura Kevlaru. [14]



Obr. 5 Struktura Kevlaru [10]

1.5.1 Vlastnosti Kevlaru z mikroskopického hlediska

Část jeho pevnosti je v mezimolekulárních vazbách mezi karbonylovými skupinami a protony na sousedním řetězci a další část ve vazbách zvaných „pi stacking“, kdy na sebe

silově působí atomy aromatických molekul. Toto vzájemné působení ovlivňuje KEVLAR® více než Van der Waalsovy síly a délka řetězce, která má na vlastnosti syntetických polymerů a vláken většinou významný vliv.

Speciální péče se při výrobě věnuje přítomnosti nečistot (obzvláště vápníku), které se mohou připlést do vazeb mezi řetězci a výrazně ohrozit vlastnosti materiálu. Strukturu Kevlaru tvoří relativně tuhé molekuly, které mají tendenci vytvářet většinou rovinné útvary podobné např. molekulám hedvábí. Popsaná struktura má za následek vysokou mechanickou pevnost a značnou tepelnou odolnost. Počet nenasyčených uhlíků (tj. poměr počtu atomů uhlíku ku počtu atomů vodíku) je poměrně vysoký, což snižuje jeho vznětlivost. [15]

1.5.2 Tepelné vlastnosti Kevlaru

KEVLAR® má velmi dobrou odolnost proti vysokým teplotám, zachovává si svou pevnost a pružnost i k nízkým teplotám (-196 °C), dokonce je o něco pevnější při nízkých teplotách. Při vysokých teplotách je pevnost v tahu snížena o 10-20 %, a již po několika hodinách se pevnost nadále snižuje. Např. při 160 °C se snížení pevnosti o 10 % projeví po 500 hodinách. Při 260 °C se snížení pevnosti o 50 % projeví po 70 hodinách. Při teplotě 450 °C KEVLAR® sublimuje. Ultrafialové záření degraduje a rozkládá KEVLAR®, díky čemuž je zřídka používán v outdoorových aplikacích bez ochrany před slunečním světlem. [7]

1.5.3 Druhy Kevlaru

Existují tři základní druhy Kevlaru: KEVLAR®, KEVLAR® 29 a KEVLAR® 49. KEVLAR® se používá pro vyztužení do pneumatik a různých gumašských výrobků. KEVLAR® 29 má uplatnění v průmyslu: kabely, náhrada azbestu, na brzdových obloženích a na nejrůznějších chráničích (od sportovních po vojenské balistické vesty) a bytelnější KEVLAR® 49 slouží pro zesílení trupů lodí, letadel i pro cyklistická kola. [15]

1.5.4 Nejčastější průmyslové využití

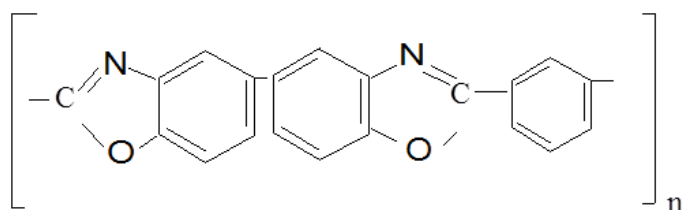
- ohnivzdorné oblečení
- ochranné oblečení a helmy
- ochranné rukavice (až 5x více odolnější průřezu než bavlněné rukavice)
- neprůstřelné vesty
- kompozitní materiály
- náhražky azbestu
- horkovzdušné filtrování
- výztuže pneumatik a jiných gumových výrobků
- provazy a kabely
- plachty lodí
- sportovní pomůcky
- blány bubnů
- blány reproduktorů
- kánoe a jiné lodě [7]

1.6 Polybenzimidazol (PBI)

PBI má aromatickou „žebříčkovitou“ strukturu řetězců. Díky tomu patří mezi polymery s výjimečnou tepelnou a chemickou stabilitou. Rozkládá se při 4500 °C na vzduchu, v dusíkové atmosféře při více než 10000 °C a má LOI = 45. Jeho teplota zesklňování je 4300 °C.

Vlákna se vyrábějí zvláknováním z roztoku v dimetylacetamidu za sucha (do atmosféry horkého dusíku, který odstraňuje rozpouštědlo). Dloužení se provádí při teplotách nad 400 °C. PBI je poměrně málo krystalický.

Speciální operací je zpracování ve vodném roztoku kyseliny sírové a následné tepelné zpracování. Účelem je omezení sráživosti při styku s plamenem pod 10 %. [10] Na obr. 6 je znázorněná struktura PBI.



Obr. 6 Struktura PBI [10]

1.6.1 Vlastnosti komerčního vlákna PBI

Komerční vlákno má především vynikající termickou stabilitu. Při tepelném rozkladu se uvolňuje pouze malé množství kouře a plynů. Jeho měrná hmotnost je 1430 kg/m^3 . Vlákná jsou silně navlhavá. Nevýhodou vláken PBI jsou nízké stálosti vůči UV záření. PBI odolává působení kyselin a alkálií za studena i za horka. Díky silným vodíkovým můstkům je jeho barvitelnost prakticky možná jen při použití organických rozpouštědel, které mají parametrem rozpustnosti $\delta \approx 12\text{--}13$. [10]

1.6.2 Použití PBI

Původně byl PBI používán pro vojenské účely a jako nehořlavý materiál pro atmosféru bohatou na kyslík (kombinézy pro piloty a kosmonauty). Používají se také jako prepolymery pro uhlíková vlákna a náhrada azbestu. PBI lze bez problémů zpracovat běžnými textilními technikami (předení, tkaní, atd.). Používají se především do speciálních ochranných oděvů (hasiči), kde se používají ve směsi s jinými nehořlavými vlákny (KEVLAR[®]). V 80. letech byl zaveden na textilní trh firmou Celanere. [10]

1.7 TEFLON (PTFE)

PTFE je fluorovaný polymer, který je více známý pod svým obchodním názvem teflon. Je polymer s vysokým kyslíkovým číslem LOI = 95-98 (jako samozhášivé polymery označujeme ty s kyslíkovým číslem větším než 21). Obr. 7 ukazuje molekuly PTFE v 3D.

Teflon se řadí k vláknům nehořlavým, špatně tavitelným s nízkým koeficientem tření a odolávající chemikáliím. Patří k termoplastům, ačkoliv má některé vlastnosti, které jsou typické spíše pro reaktoplasty [16]. Základní nevýhodou těchto vláken je poměrně výrazná trvalá deformace (creep) za vyšších teplot [10]. Ke zlepšení tohoto nedostatku se používají p-aramidy, se kterými se PTFE směsuje. Z těchto typů vláken se vyrábějí porézní membrány, které v ochranném oděvu slouží jako ochrana proti požáru nebo k ochraně textilií před skvrnami. Tento typ vláken je vyráběn firmou DuPont pod obchodním názvem Teflon.

Teflon lze aplikovat i na textilní vlákno. Textilie se pak stává vodoodpudivá, toho se využívá např. při výrobě teflonových ubrusů. Kapalina zůstává na povrchu takové textilie ve formě kuliček, které je možno jednoduše vysát. [16]



Obr. 7 Model úseku molekuly PTFE v 3D [16]

1.7.1 Výroba teflonového vlákna

Vlákno Teflon (EI DuPont) se připravuje vytlačováním fibrilární polymerní suspenze za přídavku viskózy (alkalického roztoku xantogenátu celulózy). Následuje slinování (tj. zkompaktnění spojené se spékáním částic polymeru) za vysoké teploty. Díky zuhelnatěným zbytkům viskózy má vlákno hnědou barvu. [10]

2 Hasičské obleky

⁴„Technické podmínky ochranného oděvu pro HZS České republiky jsou splněny za předpokladu, že:

1. Ochranný oděv splňuje požadavky ⁵ČSN EN 469 a ⁶ČSN EN 1149-1 (část 1).
2. Použitelnost ochranného oděvu je podmíněna zajištěním příslušného stupně ochrany hasiče před účinky tepla, plamene, mechanických rizik a pronikání vody při zásahové činnosti.
3. Ochranný oděv se skládá z kabátu a kalhot. Překrytí kabátu přes kalhoty je nejméně 30 cm.
4. Konstruktivně se ochranný oděv skládá ze svrchní vnější oděvní součásti a spodní oděvní součásti.
5. Materiál svrchní vnější oděvní součásti je odolný proti oděru, stálobarevný, trvale antistatický, proveden v barvě námořnická modř.
6. Spodní oděvní součást je odepínatelná od svrchní vnější oděvní součásti.
7. Po odborných opravách ochranného oděvu se jeho ochranné vlastnosti nemění.
8. Ochranný oděv, včetně odepínatelné spodní oděvní součásti, lze prát ve vodě 60 °C teplé při dodržení požadavků ČSN EN 469.
9. Na vnitřní straně svrchní vnější oděvní součásti a na spodní oděvní součásti je stabilním způsobem upevněn štítek s textem v českém jazyce s údaji a se značením podle ⁷ČSN EN 340 a piktogramem podle ČSN EN 469, datem výroby a výrobním číslem.“

2.1 Vrstvy speciálních obleků pro hasiče

Oděvy pro profesionální hasiče se skládají většinou ze tří vrstev, ale například ochranné oděvy pro SDH mají obvykle jen jednu vrstvu a to především z toho důvodu, že

⁴ Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu - ml_n11.pdf (application/pdf objekt) [online]. [cit. 2011-03-02] URL: <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/hasici/izs/bojrad/ml_n11.pdf>

⁵ Ochranné oděvy pro hasiče - Technické požadavky na ochranné oděvy pro hasiče

⁶ Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti - Část 1: Povrchový měrný odpor (Zkušební metody a požadavky)

⁷ Ochranné oděvy. Všeobecné požadavky

nedochází k častým záchranným akcím jako u profesionálních hasičů. Tyto materiály jsou navíc velmi drahé.

- Vnější vrstva chrání uživatele proti teplu, plameni, potřísnění vodou a chemickými látkami, oděrem, říznutím a poskytuje ochranu vnitřních složek. Materiál je lehký, ohebný s relativně dobrými tepelně ochrannými vlastnostmi.
 - Vlhkostní vložka (bariéra) brání proniknutí vody, vodní páry a jiných kapalin do tepelné vložky (membrány).
 - Tepelná vložka (bariéra) má obvykle objemnou formu k zajištění tepelně izolačních účinků. Většinou má přišitou podšívku ke zvýšené pevnosti vrstvy tepelné vložky.
- [17]

2.2 Podmínky pro výběr materiálu

- materiály musí být odolné vůči roztržení, zátrhu a oděru vzhledem k fyzikálnímu prostředí
- pevnost švů a uzávěrů musí být stejná jako pevnost materiálu
- musí poskytovat vysokou viditelnost v noci
- materiál musí být prodyšný a komfortní při nošení po delší dobu
- materiály musí odolávat popálení při působení a kontaktu s plamenem
- při působení tepla prouděním nebo sáláním materiály musí odolávat přestupu a vedení tepla, které by mohlo popálit kůži nositele oděvu
- v horkém prostředí se materiály nesmí srážet
- musí udržovat původní velikost a rozměry po opakovaném praní
- materiály musí brzdit hromadění elektrostatického náboje
- doplňkové vložky musí být zajištěny k zabránění penetrace chemických látek tělesných a biologických tekutin, které se při požáru běžně vyskytují [17]

2.3 Nebezpečí vzniklé při hašení požáru

- přímý kontakt s plamenem
- působení extrémně vysokých teplot
- působení intenzivního sálavého tepla
- působení nebezpečných chemických látek

- zasažení elektrickým proudem
- působení UV světla nebo ozónu
- rozříznutí nebo propíchnutí ostrými předměty
- penetrací vody a vodní páry
- kontaminace nebezpečnými chemickými látkami
- účinek vody nebo vodní páry (cesta pro vedení tepla a snížením izolační schopnosti oděvu) [17]

2.4 Společnost DEVA-FM

Společnost DEVA F-M. s.r.o. je specializovaný výrobce ochranných oděvů. Jejich výrobky jsou určeny všem profesím, které vyžadují mimořádnou ochranu v extrémních situacích, které často rozhodují o životě a smrti. Výrobky musí své uživatele chránit a zároveň však musí být maximálně pohodlné a jednoduché na údržbu.

Ochranné obleky společnosti DEVA F-M. s.r.o. pomáhají v boji s plameny, sálavým teplem, vodou, chemikáliemi, roztaveným kovem a jinými nebezpečnými látkami či živly. Oděvy jsou vyrobeny z vlákna NOMEX[®] firmy DuPont a z materiálu GORE-TEX[®] firmy W. L. GORE, všechny výrobky splňují požadavky evropských norem. Kromě hasičů, policie a armády používají ochranné obleky DEVA také záchranáři, pracovníci petro-chemického průmyslu a plynárenství. Od firmy DuPont obdržela společnost DEVA F-M. s.r.o. certifikát "Kvalifikovaný oblek z materiálu NOMEX[®]" pro hasiče a průmyslové dělníky, jehož součástí byl také THERMO-MAN[®] test v Ženevě.

V oblasti ochranných obleků se značka DEVA stala zárukou kvality a maximálního komfortu v zemích Evropské Unie i v celosvětovém měřítku. V roce 1996 získala firma certifikát ISO 9001 – systému řízení jakosti. [18]

2.4.1 Ochranný oblek BUSHFIRE

BUSHFIRE (viz obr. 8) je dvoudílný, ochranný hasičský oděv pro zdolávání požárů na volném prostranství podle ⁸EN 15614:2007, ⁹EN ISO 11612, ¹⁰EN 1149-5 (viz obr. 9).

⁸ Ochranné oděvy pro hasiče - Laboratorní metody zkoušení a technické požadavky na provedení oděvů pro likvidaci požárů v otevřeném terénu

Pro oděv BUSHFIRE je charakteristický permanentně nehořlavý materiál, zvýšená mechanická odolnost, dobrý komfort při nošení, snadná údržba a dlouhá životnost. Tento ochranný oděv v České republice využívají členové SDH.

Materiálové složení oděvu BUSHFIRE je z vláken **NOMEX®** Comfort Grid RS. Na oděvu jsou umístěny reflexní pásy Scotchlite™ (50 mm), Reflexite™ (50 mm) s nápisem.

Oděv byl testován na manekýnu THERMO-MAN® v Ženevě. Cena kompletu bez DPH je 5 060 Kč. [19]



Obr. 8 BUSHFIRE [18]



Obr. 9 Normy pro ochranný oděv BUSHFIRE [18]

2.4.2 Zásahový oblek FIREMAN Strong

FIREMAN Strong (viz obr. 10) je dvoudílný, vícevrstvý, zásahový oblek pro hasiče podle EN 469:2005, EN 1149-5 (viz obr. 11). Oděv je charakteristický výbornými

⁹ Ochranné oděvy - Oděvy na ochranu proti teplu a plameni

¹⁰ Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti - Část 5: Materiálové a konstrukční požadavky

tepelně-izolačními vlastnostmi. Zásahový oblek FIREMAN Strong používají převážně HZS v České republice.

Materiálové složení vnější vrstvy je z vláken **NOMEX® Tough**. Prostřední vrstvu tvoří PU membrána a poslední vrstva tvoří tepelnou bariéru zásahového obleku, která vznikla sešitím dvou vrstev materiálu NOMEX® fleece s NOMEX®/VS podšívkou. Oděv má speciální úpravu SOFIGUARD®. Úprava SOFIGUARD® na vnější straně tkaniny zajišťuje ochranu proti kapalným chemikáliím, bez nutnosti další reimpregnace odolává až 25 cyklům praní při 60 °C a sušení. Na oděvu FIREMAN Strong jsou umístěny reflexní pásy Scotchlite™ - žluto-stříbrná (75 mm), Scotchlite™ - kombinace žlutá a stříbrná (50 mm). Cena kompletu bez DPH je 11 370 Kč.

Zásahový oblek byl testován na manekýnu THERMO-MAN® v Ženevě. [19]



Obr. 10 FIREMAN Strong [18]



*Obr. 11 Normy pro ochranný oděv
FIREMAN Strong [18]*

2.4.3 Zásahový oblek FIREMAN V-PBI

Zásahový oblek podle EN 469:2005, EN 1149-5 s odnímatelnou vložkou. Střih „ACTION“ redukuje stres, zvyšuje komfort a pohyblivost, poskytuje výjimečnou ochranu proti plamenu. Díky vazbě Rip-Stop má dvojnásobnou pevnost v trhu.

FIREMAN V-PBI (viz obr. 12) je složený ze tří vrstev. Vnější tkanina z vláken **PBI®/KEVLAR®** tvoří ochrannou vrstvu, která musí poskytovat odolnost vůči plameni, roztrhnutí, řezu a propíchnutí. Prostřední goretexová (**GORE-TEX®** Fireblocker N) vrstva slouží jako vlhkostní bariéra (vrstva odolná proti vodě, větru, chemikáliím, prodyšná). Třetí vrstva je vnitřní izolační vrstvou proti vodivému, radiálnímu a konvekčnímu teplu (**PARALINEX®** II). Oděv má volitelné reflexní, fluorescenční nebo photoluminescenční pásy. [20]

Testováno na manekýnu THERMO-MAN® v Ženevě [19]. Cena za komplet bez DPH 14 174 Kč.



Obr. 12 FIREMAN V-PBI [20]

2.4.3.1 Test THERMO-MAN[®]

DuPont[™] THERMO-MAN[®] - manekýn v životní velikosti, který je vybaven 122 teplotními čidly, které zaznamenávají nárůst teploty na povrchu manekýna (viz obr. 13). Manekýn je oblečen do zkušebních oděvů a je vystaven šlehání ohně. Při tomto testu teplota stoupá až na 1000 °C. Pomocí počítače se vypočítá předpokládané procento druhého a třetího stupně popálení, které by hořící osoba mohla utrpět za podobných podmínek. Testy prokazují, že pracovník oblečený do 100% CO nebo PL/CO by mohl utrpět vážné popáleniny na téměř 100 % jeho těla. Zatímco pracovník chráněn NOMEX[®] by patrně utrpěl 40 % popálenin na jeho těle, tím se podstatně zvyšují jeho šance na přežití a snižuje se doba potřebná na zotavení. [21]



Obr. 13 THERMO-MAN[®] [21]

2.4.4 Zásahový oblek TIGER Matrix

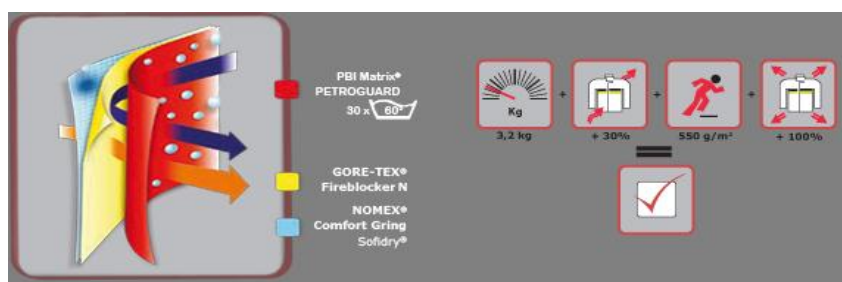
Ochranný oblek pro hasiče podle EN 469:2005, EN 1149-5. Vyvinutý pro vyšší tepelné zatížení a lepší mechanické odolnosti do extrémních podmínek. Oblek má nízkou hmotnost materiálové sestavy a tím vyšší komfort. Obrázek 15 zobrazuje schéma materiálové konstrukce.

TIGER Matrix je dvoudílný, vícevrstvý oděv (viz obr. 14). Materiálové složení vnější vrstvy je z vláken **PBI**[®] Matrix, která má speciální úpravu PETROGUARD[®]. Úprava PETROGUARD[®] zajišťuje ochranu proti kapalným chemikáliím a vydrží bez nutnosti další reimpregnace až 30 cyklů praní při 60 °C a sušení. Prostřední vrstva

slouží jako vlhkostní bariéra - GORE-TEX® Fireblocker N. Poslední vrstvu tvoří materiál z vláken NOMEX® Comfort/Grid s úpravou SOFIDRY®, tato permanentní úprava pomáhá k rychlému odvodu vlhkosti od uživatele a z obleku, zvyšuje tak nejen komfort nošení a výkonnost, ale i ochranné vlastnosti obleku. Oděv má reflexní značení Scotchlite™ - žluto-stříbrná (75 mm), Reflexite™ - žlutá (50 mm) a žlutý nebo stříbrný reflexní nápis. Testováno na PYRO-MAN manekýnu v USA. [19] Cena za komplet bez DPH 15 782 Kč.



Obr. 14 TIGER
Matrix [18]



Obr. 15 Schéma materiálové konstrukce [18]

2.4.4.1 Test PYRO-MAN®

PYRO-MAN® (viz obr. 16) funguje na podobném principu jako figurína THERMO-MAN®, je to tedy figurína v životní velikosti, která má po celém těle umístěno 122 jednotlivých tepelných senzorů, které zjišťují popáleniny 2. a 3. stupně.

Na figurínu působí osm průmyslových hořáků po dobu 12 s. Hořáky jsou pečlivě rozmístěny tak, aby vytvořily velký objem požáru, který zcela pohltí figurínu. [22]



Obr. 16 PYRO-MAN® [22]

Tabulka 2 Materiálové složení a povrchové úpravy vrchových materiálů hasičských obleků

	BUSHFIRE 220g/m ²	FIREMAN Strong 195g/m ²	FIREMAN V-PBI 210g/m ²	TIGER Matrix 205g/m ²
NOMEX®	x	x		
KEVLAR®			x	
PBI®			x	x
Úprava SOFIGUARD®		x		
Úprava PETROGUARD®				x

Tabulka 3 Normy platné pro hasičské obleky

	BUSHFIRE	FIRAMAN Strong	FIREMAN V-PBI	TIGER Matrix
EN 15614	x			
EN ISO 11612	x			
EN 1149-5	x	x	x	x
EN 469		x	x	x

3 Normy pro nehořlavost

V důsledku vývoje nových typů tkanin pro různé oblečení a vybavení do průmyslových aplikací, dosáhlo zkoušení textilií významné pozice v textilním průmyslu. Téměř pro všechny textilní výrobní činnosti se stalo povinné testování a hodnocení textilních výrobků, jako jsou příze a tkaniny, aby splňovaly mezinárodní normy a spokojenost zákazníků. [23]

Pro zkoušky nehořlavosti textilních materiálů máme různé normy. Během výběru normy zohledňujeme funkci a použití daného textilního materiálu, na kterém chceme zkoušky provádět. Textilní materiály můžeme dělit na bytové či oděvní textilie a technickou konfekci, která se ještě dále rozděluje na textilie pro automobilové doplňky a textilie na ochranné oděvy.

3.1 Bytové a oděvní textilie

V této oblasti textilních materiálů je jejich zkoušení důležité z hlediska bezpečnosti výrobku. U zkoušek se simuluje možné nebezpečí, které může vzniknout během užívání těchto textilií. Vyhodnocuje se: jestli se materiál vznal, doutnal, hořel, zda odkapával jako tavenina. Dále se měří doba rozšíření plamene, která je podstatná proto, aby měl člověk možnost oheň uhasit nebo čas uniknout.

Oděvní textilie se zkouší podle normy ¹¹ČSN EN 1103 (80 0804).

Bytové textilie se zkouší podle dvou základních norem ČSN EN 6940 (80 0805) - zkoušení zápalnosti, ¹²ČSN EN 6941 (80 0806) - rychlost šíření plamene.

Matrace a lůžka s pevným čalouněním se zkouší dle ¹³ČSN EN 597-1 a 2 (91 0236). [12]

¹¹ Textilie - Oděvní textilie - Podrobný postup pro zjišťování chování při hoření

¹² Textilie - Hořlavost - Měření rychlosti šíření plamene u svisle umístěných zkušebních vzorků

¹³ Nábytek - Hodnocení zápalnosti matrací a lůžek s pevným čalouněním - Část 1: Zdroj zapálení - žhnoucí cigareta. - Část 2: Část 2: Zdroj zapálení - ekvivalent plamene zápalky

3.2 Technická konfekce

Autodoplňky (potahy v dopravních prostředcích) jsou zkoušeny podle normy ¹⁴ČSN ISO 3795 (30 0577) norma stanovuje metodu pro určení vodorovné rychlosti hoření, po vystavení malému plameni a to u materiálů používaných v prostoru pro cestující silničních vozidel (osobní a nákladní automobily, autobusy), zemědělských strojů atd.

Hořlavost ochranný oděvů je zkoušena podle norem ¹⁵ČSN EN ISO 15025 (83 2750), ¹⁶ČSN EN ISO 6942 (83 2744), ČSN EN 469 (83 2800). Zkoušky nejsou vhodné pro materiály, které vykazují rozsáhlé tavení nebo srážení. [12]

¹⁴Silniční vozidla, traktory, zemědělské a lesnické stroje STANOVENÍ HOŘLAVOSTI MATERIÁLŮ POUŽITELNÝCH V INTERIÉRU VOZIDLA

¹⁵ Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Metoda zkoušení pro omezené šíření plamene

¹⁶ Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu

4 Experimentální část

Experimentální část práce mohla být provedena hlavně díky poskytnutým materiálům od společnosti DEVA-FM. Jedná se o vrchové materiály z již zmíněných obleků pro hasiče. Vzorky materiálů nebyly před zkouškou ošetřeny. Testy byly provedeny na automatickém zařízení pro zkoušky nehořlavosti M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER (zařízení pro vertikální zkoušení textilií – test hořlavosti u svisle umístěných vzorků). Na obr. 17 je ukázka přístroje. Zkoušky byly provedeny dle normy ČSN EN ISO 6940. Tato norma byla vybrána z důvodu přítomnosti potřebného zařízení v příslušné laboratoři, dále kvůli vhodnosti použití pro dané materiály a v neposlední řadě na doporučení konzultanta bakalářské práce.

Vzorky materiálů po zkouškách nehořlavosti byly dále zkoumány v laboratoři na obrazovou analýzu.

Vzorky použitých materiálů jsou v příloze A. Technické údaje přístroje M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER jsou uvedeny v příloze B. Výsledky provedených zkoušek jsou v tabulkách zaznamenány v příloze C.



Obr. 17 Přístroj pro zkoušky nehořlavosti materiálů M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER [25]

4.1 Test hořlavosti podle normy ČSN EN ISO 6940 (80 0805)

¹⁷ „Textilie - Hořlavost - Zjišťování snadnosti zapálení svisle umístěných zkušebních vzorků.

Podstatou zkoušky (postup A) je působení definovaného plamene ze specifikovaného hořáku na plochu textilních zkušebních vzorků umístěných ve svislé poloze. Průměrná doba zapálení se stanoví jako průměrná hodnota naměřených dob potřebných pro zapálení zkušebních vzorků plamenem.”

Definovaný plamen působí na 12 vzorků materiálu (pro případ, že dojde k pěti případům zapálení a pěti případům nezapálení) do plochy maximálně po dobu **20 s**. [24]

4.1.1 Vyhodnocení zkoušky

Materiály, které měly být vystaveny zkoušce nehořlavosti, byly nejprve podrobeny předtestu, aby mohla být určena počáteční doba působení plamene. V předtestu působil plamen do plochy vzorků po dobu 20 s (maximální doba působení plamene podle normy ČSN EN ISO 6940) a to z důvodu předpokládané nehořlavosti materiálů. Vzhledem k tomu, že vzorky zkoušených materiálů očekávaně nezačaly po této době působení plamene hořet, navyšovala se postupně doba působení plamene. Maximálně možná doba působení plamene je 99 s a to z důvodu omezeného nastavení času na ovládacím panelu přístroje. Po maximálním působení (99 s) plamene do plochy vzorku, se postupně prodlužovala doba působení plamene na stejný vzorek materiálu, dokud nebyl vzorek dostatečně poškozen nebo dokud ve vzorku nevznikla díra. Průměrná doba mezi nastavením času působení plamene na jeden vzorek je cca 7 s. V tomto případě zkoušek nelze vypočítat průměrnou dobu zapálení, protože vzorky nezačaly hořet.

Pro zkoušky byla stanovena maximální doba působení plamene na vzorky do 220 sekund a to kvůli tomu, že materiály z nomexových vláken nezačaly hořet ani po této době působení, ale materiály z Kevlaru[®] a PBI[®] měly závažná poškození (díry v tkanině) dříve, než dosáhly určené časové hranice.

Norma ČSN EN ISO 6940, které se použila pro zkoušky na zvolený materiál, nebyla vyhovující kvůli již zmíněnému nízkému nastavení času působení plamene. Na

¹⁷ ČSN EN ISO 6940:2004

zkoušky se použilo pouze 6 vzorků od každého materiálu, tento počet je vyhovující pro zjištění kvality a odolnosti vláken.

4.1.1.1 BUSHFIRE - vyhodnocení zkoušky

Materiálové složení vzorků je z vláken NOMEX[®]. Plošná měrná hmotnost materiálu je 220 g/m².

V počátku zkoušky materiál začal silně doutnat, ale to trvalo jen prvních pár sekund. Kouř byl hustý, šedý a zapáchal. Materiál v místě působení plamene změnil barvu tkaniny. Na první vzorek působil plamenem 40 s. Maximální doba působení plamene v rámci zkoušky byla 220 s, vzorky zkoušeného materiálu do této doby nezačaly hořet, žhnout a v tkanině nevznikla **žádná díra**.

Vzorky v místě působení plamene ztratily svou pružnost a ohebnost, při ohybu se vzorky lámou a praskají. Vlákná jsou do sebe „zapečená“. Na dotek je povrch velmi hrubý.

4.1.1.2 FIREMAN Strong - vyhodnocení zkoušky

Materiálové složení vzorků je z vláken NOMEX[®] Tough. Materiál má povrchovou úpravu SOFIGUARD[®] (ochranu proti kapalným chemikáliím, odolává až 25 cyklům praní při 60 °C a sušení). Plošná měrná hmotnost materiálu je 195 g/m².

V prvních cca 30 sekundách, kdy na vzorky působí plamen, se zdá, jako kdyby se plamen materiálu vůbec nedotýkal, ale spíš po něm jen „klouzal“. Na první vzorek působil plamenem 40 s. Maximální doba působení plamene v rámci zkoušky byla 220 s, vzorky zkoušeného materiálu do této doby nezačaly hořet, žhnout a v tkanině nevznikla **žádná díra**.

Vzorky v místě působení plamene ztratily svou pružnost a ohebnost, vlákna jsou velmi křehká, při ohybu se vzorky lámou a praskají. Vlákná jsou do sebe „zapečená“. Na dotek je povrch velmi hrubý.

4.1.1.3 FIRAMAN V-PBI - vyhodnocení zkoušky

Materiálové složení vzorků je z vláken PBI[®]/KEVLAR[®]. Plošná měrná hmotnost materiálu je 210 g/m².

Během zkoušky na vzorcích vznikají malé jiskry, které po ukončení působení plamene mizí. Na první vzorek materiálu působil plamenem po dobu 40 s. Po 99 s materiál začal žhnout a to po dobu cca 5 s i po ukončení působení plamene. Maximální doba působení plamene na vzorek materiálu byla 220 s, ale již při 200 sekundách vznikla ve vzorku díra.

Vlákna jsou v místě poškození plamene křehká, slabá a lze je snadno přetrhnout.

4.1.1.4 TIGER Matrix - vyhodnocení zkoušky

Materiálové složení vzorků z vláken PBI[®]. Materiál má povrchovou úpravu PETROGUARD[®] (ochranu proti kapalným chemikáliím, odolává až 30 cyklům prání při 60 °C a sušení). Plošná měrná hmotnost materiálu je 205 g/m².

Během zkoušky na vzorcích vznikají malé jiskry, které po ukončení působení plamene mizí, vzorek prvních cca 10 s doutná. Na první vzorek materiálu působil plamen po dobu 40 s. Maximální doba působení plamene na vzorek byla 160 sekund a to z důvodu nízké odolnosti materiálu vůči plameni. Materiál začal žhnout již po 99 s, kdy na něj plamen působil. První díra na vzorku vznikla po 140 s. Materiál žhnul i cca 5 sekund po ukončení působení plamene.

Tento materiál má malou plochu poškození, ale intenzita poškození byla největší ze všech zkoušených materiálů. Vlákna v místě poškození ztratila svou pevnost, lze je snadno přetrhnout.

Vzorky materiálů po zkoušce jsou na obrázcích 18-21.



*Obr. 18 Zapálení povrchu
BUSHFIRE (NOMEX[®]), doba působení
plamene 220s*



*Obr. 19 Zapálení povrchu
FIREMAN Strong (NOMEX[®] Tough +
povrchová úprava SOFIGUARD[®]), doba
působení plamene 220s*



*Obr. 20 Zapálení povrchu
FIREMAN V-PBI (PBI[®]/KEVLAR[®]), doba
působení plamene 220 s*

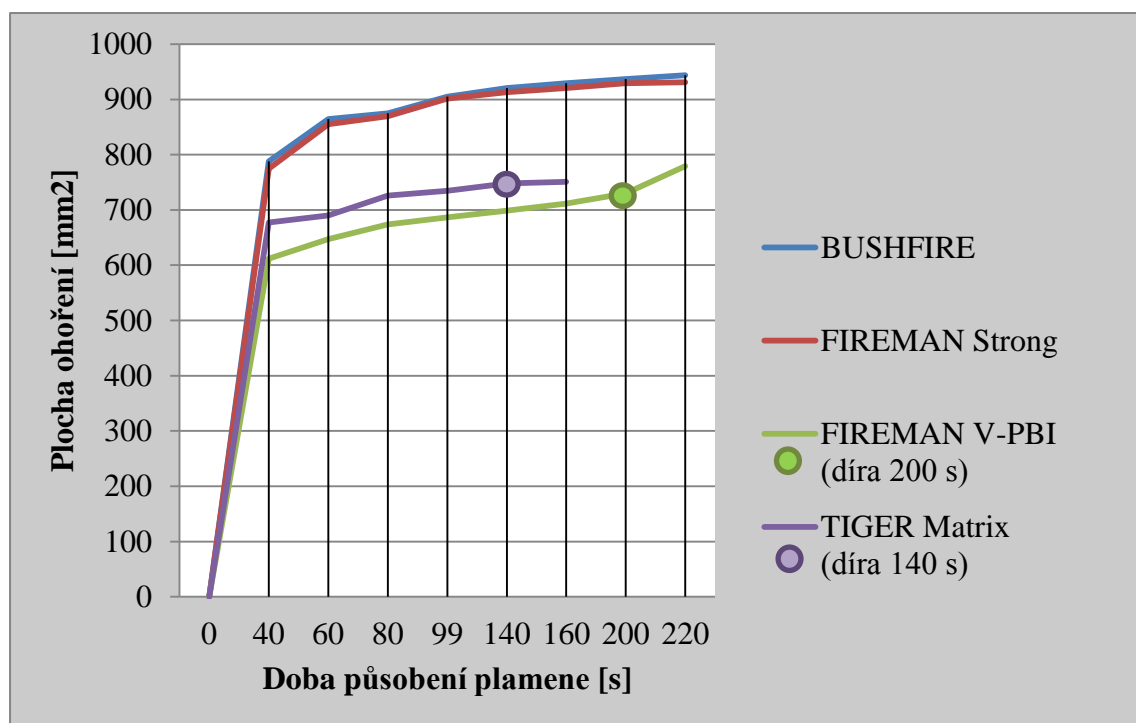


*Obr. 21 Zapálení povrchu TIGER
Matrix (PBI[®] + povrchová úprava
PETROGUARD[®]), doba působení
plamene 160 s*

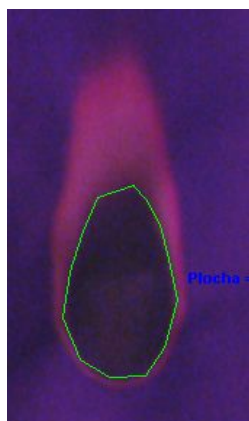
4.1.2 Obrazová analýza

Pro objektivní zjištění rozsahu zásahu plamenem byla provedena metoda obrazové analýzy. Pomocí této metody byla měřena ohořelá plocha vzorků, které byly vystaveny zkouškám nehořlavosti podle normy ČSN EN ISO 6940. Výsledky ohořelých ploch jsou graficky znázorněny v obr. 22. Na obr. 23 a 24 je ukázka vzorků BUSHFIRE a FIREMAN V-PBI, kde se touto metodou měřila plocha poškození a plocha vzniklé díry v tkanině. S nejmenší plochou ohoření vyšel materiál FIREMAN V-PBI[®] (PBI[®]/Kevlar[®]).

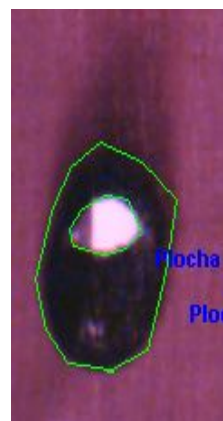
U materiálů FIREMAN V-PBI a TIGER Matrix během zkoušky nehořlavosti vznikly na některých vzorcích díry. Metodou obrazové analýzy se změřila plocha poškození plamenem a po té plocha vniklé díry. Procenty se dále určilo, jaká část plochy poškození připadá na vzniklou díru. Výsledky naměřených hodnot poškozených materiálů jsou uvedeny v tabulkách 4-7.



Obr. 22 Grafické porovnání ohořelých ploch zkoušených vzorků



Obr. 23 Obrazová analýza -
BUSHFIRE (NOMEX®) - měření plochy
ohoření



Obr. 24 Obrazová analýza -
FIREMAN V-PBI (PBI®/KEVLAR®) -
měření plochy ohoření + měření plochy
díry

Tabulka 4 Výsledky obrazové analýzy - BUSHFIRE

BUSHFIRE		
číslo vzorku	doba působení plamene [s]	plocha ohoření [mm ²]
1	40 s	788,03
2	60 s	864,44
3	80 s	874,88
4	99 s	904,75
5	200 s	937,06
6	220 s	943,77

Tabulka 5 Výsledky obrazové analýzy - FIREMAN Strong

FIREMAN Strong		
číslo vzorku	doba působení plamene [s]	plocha ohoření [mm ²]
1	40 s	774,67
2	60 s	855,03
3	80 s	869,72
4	99 s	901,43
5	200 s	929,58
6	220 s	931,02

Tabulka 6 Výsledky obrazové analýzy - FIREMAN V-PBI

FIREMAN V-PBI				
číslo vzorku	dobu působení plamene [s]	plocha ohoření [mm ²]	plocha vzniklé díry [mm ²]	% poškození plochy dírou
1	40 s	677,55	-	-
2	60 s	689,94	-	-
3	80 s	725,76	-	-
4	99 s	734,68	-	-
5	200 s	747,84	48,82	6,52%
6	220 s	750,89	99,99	13,32%

Tabulka 7 Výsledky obrazové analýzy - TIGER Matrix

TIGER Matrix				
číslo vzorku	dobu působení plamene [s]	plocha ohoření [mm ²]	plocha vzniklé díry [mm ²]	% poškození plochy dírou
1	40 s	611,64	-	-
2	60 s	647,32	-	-
3	80 s	673,65	-	-
4	99 s	686,32	-	-
5	120 s	729,89	41,13	5,64%
6	160 s	779,17	122,56	15,70%

Z naměřených hodnot dle předpokladů vyplývá, že plocha ohoření se zvětšuje spolu se zvyšující se dobou působení plamene.

U materiálu FIREMAN V-PBI a TIGER Matrix procento poškození ohořelé plochy dírou není příliš rozsáhlé, ale opět roste se zvyšující se dobou působení plamene.

Závěr

Bakalářská práce je zaměřená na čtyři konkrétní speciální hasičské obleky a jejich vrchové materiály, z kterých jsou ušity.

Část této práce tvoří rešerše na téma nehořlavých materiálů a vláken.

Hlavní část bakalářské práce byla zaměřena na experimentální zkoušky nehořlavosti a jejich výsledky. Zkoušky nehořlavosti byly měřeny na automatickém zařízení pro zkoušky nehořlavosti M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER podle normy ČSN EN ISO 6940 (zjišťování snadnosti zapálení svisle umístěných zkušebních vzorků). Časové nastavení přístroje bylo pro použité vzorky nevyhovující, a proto bylo nezbytné se od dané normy odlišit a zvýšit dobu působení plamene. Toto časové navýšení umožnilo dostatečně ověřit odolnost vláken v použitých materiálech. Pomocí obrazové analýzy byly naměřeny plochy rozšíření plamene na vzorcích.

Materiály, které byly vyrobeny z vláken NOMEX[®], prošly zkouškou nehořlavosti nejlépe. Plochy ohoření byly sice podstatně rozsáhlejší než u materiálů z vláken PBI[®] a PBI[®]/KEVLAR[®], ale nedošlo v tkanině k vypálení díry a rozpadu vláken.

Nejhorších výsledků během zkoušky nehořlavosti dosáhl materiál TIGER Matrix z vláken PBI[®] a povrchovou úpravou SOFIGUARD[®]. Na vzorku tkaniny došlo k vypálení díry již po 140 s, co na něj plamen působil a po 160 s bylo pro rozsáhle poškození ukončeno zkoušení materiálu.

Všechny zkoušené materiály se shodovaly v tom, že během působení plamene nekapaly, nehořely, nevznikl žádný odpad, ale změnily strukturu vláken v místě postiženým plamenem. Materiály prošly touto zkouškou jako nehořlavé.

Výsledky získané z této bakalářské práce jsou platné pouze pro zkoušky působení definovaným plamenem do plochy vrchových materiálů, z kterých jsou hasičské obleky tvořeny. Nevztahují se na celé obleky nebo jiné zkoušky.

Literatura

- [1] Brnění třetího tisíciletí [online]. [cit. 2011-02-28] URL: <<http://www.trivis.info/view.php?cislocclanku=2006052801>>.
- [2] Sálavé/konvekční teplo [online]. [cit. 2011-03-10] URL: <<http://www.jotul.com/cs/wwwjotulcz/Main-Menu/Informace-a-rady/Salavekonvekcniteplo/>>.
- [3] Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu - ml_n11.pdf (application/pdf objekt) [online]. [cit. 2011-03-02] URL: <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/hasici/izs/bojrad/ml_n11.pdf>
- [4] Kovačič, V., Textilní zkušebnictví II., Liberec, <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT2dil.pdf>
- [5] Machaňová, D. Přednášky: Finální úpravy-nehořlavá úprava. TU v Liberci, 2005.
- [6] Aramidová vlákna – Wikipedie [online]. [cit. 2011-02-01] URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Aramidov%C3%A1_vl%C3%A1kna>.
- [7] Specifikace materiálu: Kevlar [online]. [cit. 2011-02-03] URL: <http://www.odetka.cz/net20/cz/specmat_kevlar.aspx>.
- [8] Products of DOSHI GROUP :: META ARAMID FIBER [online]. [cit. 2011-03-01] URL: <http://www.doshi-group.com/meta_aramid_fiber.asp>.
- [9] para-Aramid Fibrils (IARC Summary & Evaluation, Volume 68, 1997) [online]. [cit. 2011-03-01] URL: <<http://www.inchem.org/documents/iarc/vol68/p-aram.html>>.
- [10] MILITKÝ, J. Přednášky: textilní vlákna; Speciální vlákna. Vyd. 2. Liberec: TU v Liberci, 2007. 423 s. ISBN 478-80-7372-169-5.
- [11] Staněk, D. Hodnocení komfortu ochranných oděvů příslušníků jednotek OP za standardních a extrémních podmínek při zásahu. Diplomová práce. TUO, Ostrava 2008
- [12] ZELOVÁ, Katarina. Cvičení/1: Výroba technické konfekce; technické textilie - technická konfekce. TU v Liberci, 2010

- [13] Nomex příze | texnetis.com [online]. [cit. 2011-02-01] URL: <<http://www.texnetis.com/meta-aramid-nomex.htm>>.
- [14] more - DuPont Personal Protection (Europe) [online]. [cit. 2011-02-01] URL: <<http://www.dpp-europe.com/more,5343.html?lang=cz>>.
- [15] Kevlar | Specwar.info || [online]. [cit. 2011-02-01] URL: <<http://technologie.specwar.info/kevlar/>>.
- [16] Polytetrafluorethylen – Wikipedie [online]. [cit. 2011-02-01] URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teflon>>.
- [17] Havlová, M. a Drašárová, J. Přednášky: Vysoce funkční textilie-Vysoce funkční textilie pro ochrané pracovní oděvy <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2008-07-18/11-13-17.pdf> 11-13-17.pdf (application/pdf objekt)
- [18] Sortiment - DEVA FM, s.r.o. [online]. [cit. 2011-02-03] URL: <<http://www.deva-fm.cz/spolecnost.php>>
- [19] Katalog Deva F-M your smart solution
- [20] Oblečení pro hasiče: Fireman V PBI/Kevlar na OBCHOD-HASIČI.CZ [online]. [cit. 2011-02-14] URL: <http://www.obchod-hasici.cz/Fireman-V-PBI-Kevlar-detail-182_0_0.html>.
- [21] THERMO-MAN® - DuPont Personal Protection (Europe) [online]. [cit. 2011-03-03] URL: <<http://www.dpp-europe.com/-THERMO-MAN-R,79-.html?lang=en>>.
- [22] Andy Green's Diary - February 2010 [online]. [cit. 2011-03-07] URL: <http://www.bloodhoundssc.com/news/andy_greens_diary/february_2010.cfm>
- [23] J Hu, Fabric testing, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, September 2008, Woodhead Textiles Series No. 76, ISBN 1 84569 297 7
- [24] ČSN EN ISO 6940:2004
- [25] Katedra oděvnictví [online]. [cit. 2011-04-30] URL: <<http://www.kod.tul.cz/predmety/VTK/podklady/m233b.pdf>>.

Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozdíly mezi vlákny [5]	11
Tabulka 2 Materiálové složení a povrchové úpravy vrchových materiálů hasičských obleků.....	29
Tabulka 3 Normy platné pro hasičské obleky	29
Tabulka 4 Výsledky obrazové analýzy - BUSHFIRE	38
Tabulka 5 Výsledky obrazové analýzy - FIREMAN Strong.....	38
Tabulka 6 Výsledky obrazové analýzy - FIREMAN V-PBI	39
Tabulka 7 Výsledky obrazové analýzy - TIGER Matrix	39

Seznam obrázků

Obr. 1 Aramidové vlákno [6].....	12
Obr. 2 Struktura m-aramidu [6]	13
Obr. 3 Struktura p-aramidu [6]	14
Obr. 4 Struktura Nomexu [10].....	15
Obr. 5 Struktura Kevlaru [10].....	16
Obr. 6 Struktura PBI [10]	19
Obr. 7 Model úseku molekuly PTFE v 3D [16]	20
Obr. 8 BUSHFIRE [18]	24
Obr. 9 Normy pro ochranný oděv BUSHFIRE [18].....	24
Obr. 10 FIREMAN Strong [18].....	25
Obr. 11 Normy pro ochranný oděv FIREMAN Strong [18].....	25
Obr. 12 FIREMAN V-PBI [20]	26
Obr. 13 THERMO-MAN [®] [21]	27
Obr. 14 TIGER Matrix [18].....	28
Obr. 15 Schéma materiálové konstrukce [18]	28
Obr. 16 PYRO-MAN [®] [22]	29
Obr. 17 Přístroj pro zkoušky nehořlavosti materiálů M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER [25]	32
Obr. 18 Zapálení povrchu BUSHFIRE (NOMEX [®]), doba působení plamene 220s	36
Obr. 19 Zapálení povrchu FIREMAN Strong (NOMEX [®] Tough + povrchová úprava SOFIGUARD [®]), doba působení plamene 220s	36
Obr. 20 Zapálení povrchu FIREMAN V-PBI (PBI [®] /KEVLAR [®]), doba působení plamene 220 s	36
Obr. 21 Zapálení povrchu TIGER Matrix (PBI [®] + povrchová úprava PETROGUARD [®]), doba působení plamene 160 s	36
Obr. 22 Grafické porovnání ohořelých ploch zkoušených vzorků	37
Obr. 23 Obrazová analýza - BUSHFIRE (NOMEX [®]) - měření plochy ohoření	38
Obr. 24 Obrazová analýza - FIREMAN V-PBI (PBI [®] /KEVLAR [®]) - měření plochy ohoření + měření plochy díry.....	38

Přílohy

Příloha A - Vzorky použitých materiálů	46
Příloha B - Technické údaje přístroje M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER	47
Příloha C - Tabulky výsledků zkoušek	48
Příloha D - Vzorky materiálů po zkoušce	52
Příloha E - Vzorky složení hasičských obleků	52
Příloha F - Katalog společnosti DEVA-FM	52

Příloha A - Vzorky použitých materiálů



*BUSHFIRE, NOMEX® Comfort Grid RS
220g/m²*



*FIREMAN Strong, NOMEX® Tough,
195 g/m²*



TIGER Matrix, PBI® Matrix, 205g/m²



*FIREMAN V-PBI, PBI®/KEVLAR®
40% /60%, 210g/m²*

Příloha B - Technické údaje přístroje M233B-SHIRLEY FLAMMABILITY TESTER¹⁸

ROZMĚRY:

- Šířka 56 cm, hloubka 65 cm, výška 125 cm, váha 100 kg (přibližně)

ZAPOJENÍ:

- Napětí 230 Vac , 50/60 Hz, jednofázové, pojistka 5 Amp 250 Vac

PŘÍSTROJ:

- Ovládání pomocí dotykového LCD displeje, propojení USB
- Značkovací niť 6 horizontálních značkovačů a 1 vertikální značkovač (+/- 1 mm)
- Držák vzorků 6 sad rámů s šablonami (Rozměr +/- 0,5 mm)
- Časovač +/- 0,05 s
- Přívod plynu - komerční butan nebo propan s regulátorem (není dodáváno společností SDL Atlas)

POČÍTAČ: (součástí dodávky)

- Pentium P-III 500MHz nebo lepší (nebo ekvivalentní alternativa, např. AMD K6/2-500)
- 128 Mb RAM (256Mb nebo více pro Windows 2000/XP).
- 20 Mb volného místa na harddisku (pro instalaci a 100Mb nebo více pro uložení dat.
- Mechanika pro CD-ROM nebo DVD
- 16bitový SVGA monitor s rozlišením 1024 x 768
- USB port
- Microsoft Windows XP, 2000, ME/98/98SE, NT 4.0 (SP6) Platforms

PROSTŘEDÍ: (přesné informace a požadavky viz ISO, EN nebo jiná norma)

- Vnitřní použití s ventilačním zařízením
- Pohyb vzduchu během zkoušky méně než 0,2 m/s
- Teplota okolního prostředí: od 15 do 30 °C
- Relativní vlhkost: 45 – 65 % (přesné informace viz daná zkušební norma)
- Kolísání napájecího napětí hlavního přívodu elektrické energie: + 10 % jmenovitého napětí
- Kategorie přepětí: II

¹⁸ Katedra oděvnictví [online]. [cit. 2011-04-30] URL: <<http://www.kod.tul.cz/predmety/VTK/podklady/m233b.pdf>>.

Příloha C - Tabulky výsledků zkoušek

Výsledky zkoušek		
Zkušební laboratoř	SDL Atlas	
Datum	2011-01-03 8:06	
Popis tkaniny, včetně informací o jakémkoliv ošetření před čištěním. BUSHFIRE Materiálové složení NOMEX® Comfort Grid RS – 220g/m ²		
Ref.č.	ENISO56	
Zkušební podmínky		
Norma	ČS EN ISO 6940:2004	
Změna	Doba působení plamene > 20s	
Druh zapálení	Zapálení povrchu	
Povrch, který byl vystaven působení plamene	Lícová strana materiálu v podélném směru	
Teplota	25 °C	
Relativní vlhkost	65%	
Typ plynu	Propan-butan	
Údaje o zkoušce		
Číslo zkoušky	Doba aplikace plamene (s)	Výsledek (zapálení)
1	40	Ne
2	60	Ne
3	80	Ne
4	99	Ne
5	99 + 41 + 60	Ne
6	99 + 81 + 40	Ne

Výsledky zkoušek		
Zkušební laboratoř	SDL Atlas	
Datum	2011-01-03 9:12	
Popis tkaniny, včetně informací o jakémkoliv ošetření před čištěním. FIREMAN Strong Materiálové složení NOMEX® Tough, 195 g/m²		
Ref.č.	ENISO56	
Zkušební podmínky		
Norma	ČS EN ISO 6940:2004	
Změna	Doba působení plamene > 20s	
Druh zapálení	Zapálení povrchu	
Povrch, který byl vystaven působení plamene	Lícová strana materiálu v podélném směru	
Teplota	25 °C	
Relativní vlhkost	65%	
Typ plynu	Propan-butan	
Údaje o zkoušce		
Číslo zkoušky	Doba aplikace plamene (s)	Výsledek (zapálení)
1	40	Ne
2	60	Ne
3	80	Ne
4	99	Ne
5	99 + 41 + 60	Ne
6	99 + 81 + 40	Ne

Výsledky zkoušek		
Zkušební laboratoř	SDL Atlas	
Datum	2011-01-03 10:07	
Popis tkaniny, včetně informací o jakémkoliv ošetření před čištěním. FIREMAN V – PBI Materiálové složení PBI®/KEVLAR® 40% /60%, 210g/m² Vazba Rip-Stop		
Ref.č.	ENISO56	
Zkušební podmínky		
Norma	ČS EN ISO 6940:2004	
Změna	Doba působení plamene > 20s	
Druh zapálení	Zapálení povrchu	
Povrch, který byl vystaven působení plamene	Lícová strana materiálu v podélném směru	
Teplota	25 °C	
Relativní vlhkost	65%	
Typ plynu	Propan-butan	
Údaje o zkoušce		
Číslo zkoušky	Doba aplikace plamene (s)	Výsledek (zapálení)
1	40	Ne
2	60	Ne
3	80	Ne
4	99	5s žhnutí v místě působení plamene
5	99 + 41 + 60	Díra
6	99 + 81 + 40	Díra

Výsledky zkoušek		
Zkušební laboratoř	SDL Atlas	
Datum	2011-01-03 10:54	
Popis tkaniny, včetně informací o jakémkoliv ošetření před čištěním. TIGER Matrix Materiálové složení PBI® Matrix, 205g/m ²		
Ref.č.	ENISO56	
Zkušební podmínky		
Norma	ČS EN ISO 6940:2004	
Změna	Doba působení plamene > 20s	
Druh zapálení	Zapálení povrchu	
Povrch, který byl vystaven působení plamene	Lícová strana materiálu v podélném směru	
Teplota	25 °C	
Relativní vlhkost	65%	
Typ plynu	Propan-butan	
Údaje o zkoušce		
Číslo zkoušky	Doba aplikace plamene (s)	Výsledek (zapálení)
1	40	Ne
2	60	Ne
3	80	Ne
4	99	Mat. začíná žhnout
5	99 + 41	Vzorek 5 s žhne + díra
6	99 + 41 + 20	Vzorek 5 s žhne + díry

Příloha D - Vzorky materiálů po zkoušce (složka)

Příloha E - Vzorky složení hasičských obleků (složka)

Příloha F - Katalog společnosti DEVA-FM (složka)